二斑叶螨对不同品种茄子的选择性与适合度

金桂华[1]，宫亚军[1]，潜宗伟[2]，朱　亮[1]，王泽华[1]，陈金翠[1]，魏书军[1,*]

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所，北京 100097；2. 北京市农林科学院蔬菜研究中心，北京 100097)

摘要：【目的】为明确二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 对不同品种茄子的选择性与适合度。【方法】通过二斑叶螨对不同品种茄子的田间选择性试验以及在室内不同品种茄子对二斑叶螨种群数量、个体生长发育和繁殖的影响试验，分析了二斑叶螨对 9 个茄子栽培品种和 1 个野生茄子品种的寄主选择性，以及在不同品种上的种群动态、发育历期和繁殖力。【结果】二斑叶螨对野生品种蒜芥茄 *Solanum sisymbriifolium* 的选择性最差，在该品种上除卵可以正常孵化外其他时期均不能存活。在茄子 *S. melongena* 品种间，二斑叶螨对京茄 6 号和日友长直壮青长茄的选择性最强，分别达到 195 和 183 头/株，对布利塔和长竹丝茄的选择性最差，分别为 63.5 和 59.75 头/株。接入 20 对成螨后第 28 天，紫龙王 4 号上的数量最多(1 009 头/株)，京茄 6 号和嫁接的京茄 6 号上的数量次之(分别为 981 和 909 头/株)。二斑叶螨在京茄 6 号上的发育历期最短，为 9.31 d；在长丰 2 号上发育历期最长，为 11.08 d。京茄 6 号、京茄黑霸和嫁接的京茄 6 号上二斑叶螨开始产卵的前 5 d 内单雌产卵量分别为 35.92, 33.20 和 31.34 粒/头，是产卵量较多的 3 个品种，且 3 个品种之间差异不显著；紫龙王 4 号、茄砧 1 号、布利塔和长丰 2 号上的产卵量较少，分别为 18.56，19.24，22.26 和 23.36 粒/头，且 4 个品种之间差异不显著。【结论】二斑叶螨对紫黑圆茄类的京茄 6 号的选择性较强、适合度较高，对紫黑长茄布利塔的选择性和适合度为中等，对野生品种蒜芥茄的选择性和适合度表现为最差。

关键词：二斑叶螨；茄子；品种；选择性；适合度；发育历期；繁殖力

中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2016)03-0328-09

Selectivity and fitness of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) to different varieties of eggplant

JIN Gui-Hua[1], GONG Ya-Jun[1], QIAN Zong-Wei[2], ZHU Liang[1], WANG Ze-Hua[1], CHEN Jin-Cui[1], WEI Shu-Jun[1,*] (1. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: 【Aim】The objective of this research is to evaluate the selectivity and fitness of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* to different varieties of eggplant. 【Methods】Using nine cultivars and one wild species of eggplant, the host selectivity was tested by selection experiment in field, while the effect of different varieties on colonization, population dynamics, developmental duration and fecundity of *T. urticae* was investigated in laboratory. 【Results】The results showed that *T. urticae* had the lowest selectivity to the wild species *Solanum sisymbriifolium*. All stages of *T. urticae* except for the egg stage could not survive on the wild species *S. sisymbriifolium*. Amongst the varieties of *S. melongena*, *T. urticae* showed the highest selectivity to Jingqie 6 and Riyouchangzhizhuangqingchangqie with a number of 195 and 183 individuals/plant, respectively, but showed the lowest selectivity to Bulita and Changzhusiqie. At 28 d after inoculation

基金项目：北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20140403)；北京市农业科技项目(20140105)

作者简介：金桂华，女，1981 年 11 月生，河北保定人，硕士，农艺师，研究方向为昆虫生物学，E-mail：guihuaj2005@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：shujun268@163.com

收稿日期 Received：2015-11-02；接受日期 Accepted：2016-02-17

with 20 pairs of male and female adults of *T. urticae*, the number of mites on Zilongwang 4 (1 009 individuals/plant) was the highest, followed by Jingqie 6 (981 individuals/plant) and Grafted Jingqie 6 (909 individuals/plant). *T. urticae* had the shortest developmental duration on Jingqie 6 (9.31 d), but had the longest developmental duration on Changfeng 2 (11.08 d). Fecundity of female adults in the first 5 egg-laying days was higher on Jingqie 6, Jingqieheiba and Grafted Jingqie 6 (35.92, 33.20 and 31.34 eggs laid per female, respectively) with no significant difference among these three cultivars, while was lower on Zilongwang 4, Qiezhen 1, Bulita and Changfeng 2 (18.56, 19.24, 23.36 and 22.26 eggs laid per female, respectively) with no significant difference among these four cultivars. 【Conclusion】 Selectivity and fitness of the *T. urticae* are high to the purple round type eggplant Jingqie 6, moderate to the purple long type eggplant Bulita, and low to the wild type eggplant Suanjieqie.

Key words: *Tetranychus urticae*; *Solanum melongena*; variety; selectivity; fitness; developmental duration; fecundity

多年来二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 在世界各地暴发成灾,对蔬菜、草莓和果树种植造成严重威胁(Bostanian *et al*., 2003; Park and Lee, 2005; Migeon *et al*., 2010; Sun *et al*., 2012; Howell and Daugovish, 2013; 宫亚军等, 2013, 2014)。目前在生产上通常使用化学防治的手段进行治理。由于长期使用化学农药,该螨在世界范围内对多种杀螨剂均产生不同程度的抗药性(van Leeuwen *et al*., 2013; Vassiliou and Kitsis, 2013)。二斑叶螨的治理需要多种防控措施的综合利用,如生物防治(Gerson and Weintraub, 2007; Howell and Daugovish, 2013; Monteiro *et al*., 2014; 宫亚军等, 2015)和农业措施等(Goka, 1999; Opit *et al*., 2001; Stavrinides and Skirvin, 2003; Suzuki *et al*., 2009; Scranton *et al*., 2013; Najafabadi *et al*., 2014)。其中,利用品种抗性是有害生物综合治理中减少化学农药使用的重要途径,世界上已有成功案例(Lorenzen *et al*., 2001; Maluf *et al*., 2001; Sedaratian *et al*., 2009)。

目前已有报道发现叶螨对同一作物不同品种的选择性与适合度存在差异。武予清等(1996)发现朱砂叶螨 *T. cinnabarinus* 在不同棉花品种上的繁殖力和幼螨的存活率存在显著差异。袁辉霞等(2012)发现不同品种(系)的棉花对土耳其斯坦叶螨 *T. turkestani* 的生长发育、各螨态的发育历期、存活率以及成螨的生殖参数均有明显的影响。雷慧德等(2004)发现桔全爪螨 *Panonychus citri* 在 14 个柑桔品种上的种群密度和内禀增长率存在明显差异。Scranton 等(2013)发现不同葡萄 *Vitis vinifera* 品种影响太平洋叶螨 *T. pacificus* 的发育历期和未成熟期的存活率。目前也有报道发现同一作物的不同栽培品种对二斑叶螨的影响,如草莓(Gimenez-Ferrer *et al*., 1994)、菜豆(Najafabadi *et al*., 2014)、大豆(Sedaratian *et al*., 2011)、番茄(Saeidi and Mallik, 2006)、树莓(Wilde *et al*., 1991)和盾叶天竺葵 *Pelargonium peltatum*(Opit *et al*., 2001)等作物的不同品种对二斑叶螨的生长发育和繁殖等有影响。

茄子是二斑叶螨危害的主要作物之一(Gorman *et al*., 2001)。Khanamani 等(2013)研究了伊朗的 7 个茄子品种对二斑叶螨发育和繁殖的影响,结果显示不同品种上二斑叶螨发育历期和繁殖力差异显著,但是研究并没有涵盖我国的主栽品种。目前国内也未见关于我国主栽茄子品种对二斑叶螨的抗性等方面的研究报道。

本研究选择了目前我国生产上主要栽培的圆茄、长茄和其他类型的 10 个茄子品种,开展了二斑叶螨对不同品种选择性及适应性研究,为明确我国主栽茄子品种对二斑叶螨的抗性,为茄子抗性品种的选育和二斑叶螨的综合治理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试叶螨与茄子品种

供试二斑叶螨于 2015 年 1 月中旬采自北京市大兴区竣铭诚农业科技园温室草莓。采集后转接到菜豆苗上饲养扩繁 2 代,然后接入供试茄子苗上饲养 2 代,以用于后续试验。饲养温度 25 ± 1℃,相对湿度 60% ~ 80%,光周期为 16L∶8D。由于蒜芥茄 *Solanum sisymbriifolium* 上二斑叶螨不能完成完整世代,该品种上的试虫直接从豆苗上饲养的种群中挑取。

选用不同类型的 10 个茄子品种进行试验(表 1)。每隔 1 个月播种 1 次,苗龄 1 月后分苗到上口长 × 宽 × 高为 6.5 cm × 6.5 cm × 8.5 cm 的塑料花盆中培养,当长至 4 ~ 6 片真叶时用于试验。

表 1 供试茄子品种及特性

Table 1 Characteristics of different varieties of eggplant used in the study

茄子种类 Eggplant species	品种 Varieties	类别 Type
茄子 *Solanum melongena*	嫁接的京茄 6 号 Grafted Jingqie 6	紫黑圆茄 Purple round type
	京茄 6 号 Jingqie 6	紫黑圆茄 Purple round type
	京茄黑霸 Jingqieheiba	紫黑长茄 Purple long type
	紫龙王 4 号 Zilongwang 4	紫黑长茄 Purple long type
	布利塔 Bulita	绿萼紫黑长茄 Green calyx purple long type
	长丰 2 号 Changfeng 2	紫红长茄 Purplish red long type
	长竹丝茄 Changzhusiqie	其他类别 Other type
	日友长直壮青长茄 Riyouchangzhizhuangqingchangqie	其他类别 Other type
水茄 *Solanum torvum*	茄砧 1 号 Qiezhen 1	砧木 Stock
蒜芥茄 *Solanum sisymbriifolium*	蒜芥茄 Suanjieqie	野生 Wild type

1.2 二斑叶螨对不同品种茄子的选择性

选择性试验在长×宽×高为 2 m×2 m×3 m 的 100 目网室中进行。将不同品种的茄子苗各 1 株随机排列围成一圈,相同类型的茄子苗不相邻,植株间隔 10 cm 以上,且叶片不互相接触。将带有大量二斑叶螨的菜豆叶片均匀放在茄子苗的四周以及不同品种茄子苗围成的圆圈中部,4 h 后取出并记录每株茄子上幼螨、若螨和成螨的数量。共重复 4 次,每次重复的茄子苗排列顺序不同,4 次重复同时在不同的网室中进行。

1.3 二斑叶螨在不同品种茄子上定殖及种群动态变化规律

为观察同一批成螨在不同品种茄子上的种群动态变化规律,每个品种分别取 1 株苗,接入 50 对雌雄成螨,产卵 12 h 后用毛笔挑除接入的成螨,获得整齐的卵,置于温度 25±1℃,相对湿度 60%~80%,光周期为 16L∶8D 的培养箱(LP-80CCFL-6CTAR,NK System,日本)内饲养,直到成螨。将每个品种单株茄子苗上接入同一个品种上饲养的 20 对刚刚蜕皮的雌雄成螨,接入后第 7, 14, 21 和 28 天分别观察记录若螨、幼螨和成螨的数量。每个茄子品种设置 10 次重复。

1.4 二斑叶螨在不同品种茄子上的发育历期

本研究使用一种改进的装置测定二斑叶螨的发育历期(朱亮等, 2013)。首先在一块有机玻璃板上放一张直径 7 cm 的滤纸,滤纸上加 200 μL 水,然后摘取生长良好、大小合适的第 4-6 片茄子真叶,置于滤纸上方,在叶片上方放一个中间带有直径为 3 cm 的圆孔的有机玻璃夹板,在夹板上放一块玻璃盖板,最后用长尾夹将 3 层板夹住,形成一个叶螨饲养与观察装置。每个品种取 1 株苗,接入 15 对雌雄成螨,产卵 12 h 后,去除成螨,获得整齐的卵,将新产的卵用毛笔轻轻转移到带有离体茄子叶片的 3 层玻璃板组成的观察装置的孔内,每孔放 1 粒卵,置于温度 25±1℃,相对湿度 60%~80%,光周期 16L∶8D 的培养箱(同上)内饲养,每天早晚 8 点各观察1 次,通过观察蜕皮记录卵期、幼螨期、第 1 若螨期和第 2 若螨出现的时间。每 3 d 更换一次叶片,并将叶螨转移到新鲜叶片上,直至发育到成螨。每个茄子品种设置 20 次以上的重复。

1.5 二斑叶螨在不同品种茄子上的繁殖力

为获得发育整齐的成螨,每个品种茄子各取 1 株,分别接入 15 对雌雄成螨,产卵 12 h 后,去除成螨,获得整齐的卵,置于温度 25±1℃,相对湿度 60%~80%,光周期 16L∶8D 的环境下(同上)饲养。当始见成螨时,每个品种单株茄子苗上接入 10 对刚刚蜕皮的雌雄成螨,置于温度 25±1℃,相对湿度 60%~80%,光周期 16L∶8D 培养室内饲养,记录成螨接入后自第 1 粒产下起第 1-5 天的产卵量总和。每个茄子品种设置 20 次重复。

1.6 茄子叶片组织结构的特征比较

采集茄子第 4 片真叶,用 Nikon SMZ1500 体式显微镜观察记录 5 倍物镜下一个视野内各个品种茄子叶背面茸毛数量,每片叶子记录 4 个位置,每个位置观察记录 3 次,每个品种茄子选 5 片叶,共设置 20 次重复。

1.7 数据分析

对于寄主选择数据,首先使用 R 语言 shapiro.test 过程对样本数据进行正态性检验,样本属于正态分布($W=0.9685$, $P=0.2212$)(W 接近 1,$P>0.05$,表明数据为正态分布)。再使用 R 语言 nlme 包中基于限制最大似然估计的 lme 混合线性模型过

程分析不同品种茄子对二斑叶螨分布量的影响的显著性。其中茄子品种为该模型的固定影响因素（影响二斑叶螨分布量平均值），相同品种茄子在不同空间的重复为该模型的随机影响因素（影响二斑叶螨分布量的方差值）。

将接入 20 对雌雄成螨后 28 d 时的幼螨、若螨和成螨的数量之和作为二斑叶螨对于此品种茄子的适合度指标。对于二斑叶螨在不同品种茄子上的适合度、发育历期及不同品种叶片的茸毛数量等用 Excel 2013 和 DPS v13.5（唐启义和冯明光，2007）进行方差分析和多重比较（Duncan 氏新复极差测验法）。

对于二斑叶螨寄主选择性和适应性与茄子叶片茸毛数量的关系，使用 R 语言 lm 过程进行线性回归，并对 Pearson 线性相关系数显著性进行检验。

试验中京茄 6 号使用了嫁接和未嫁接 2 种栽培方式的植株，在数据分析时作为不同品种进行处理。

2　结果

2.1　二斑叶螨对不同品种茄子的选择性

茄子品种对二斑叶螨分布量产生极显著影响（$df = 35$，$t = -3.626307$，$P = 9e-04 < 0.01$）。对各个因子最大似然估计进行卡方检验，最后通过参数估计得到不同茄子品种优势比的 95% 置信区间，当任意 2 个处理 95% 置信区间范围重合则差异不显著，反之差异显著。经过 4 h 选择，不同品种的茄子上二斑叶螨的数量存在差异。京茄 6 号和日友长直壮青长茄上二斑叶螨数量最多，分别达到 195 和 183 头/株；野生品种蒜芥茄上的数量最少，仅为 7 头/株。除蒜芥茄外，二斑叶螨对嫁接的京茄 6 号、紫龙王 4 号、长丰 2 号、京茄黑霸和茄砧 1 号的选择性依次降低，对布利塔和长竹丝茄的选择性最差，分别为 63.5 和 59.75 头/株（图 1）。

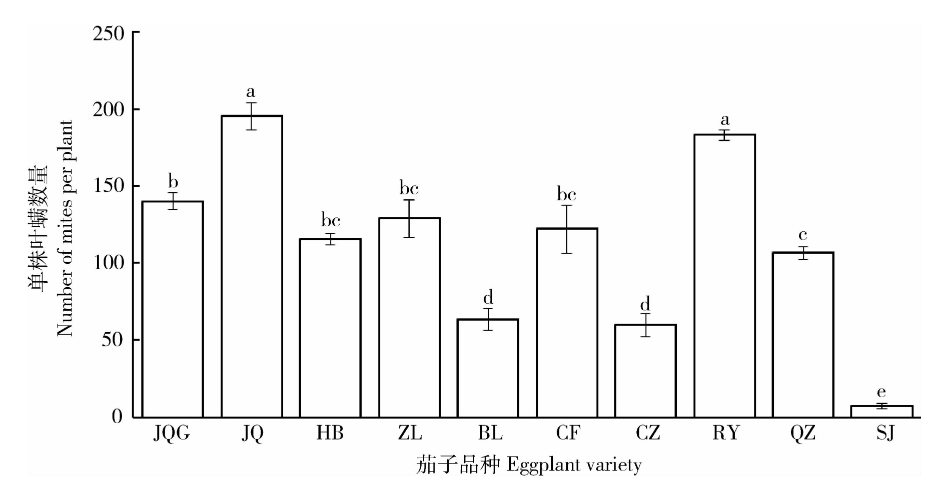


图 1　选择 4 h 后不同品种茄子上二斑叶螨的数量

Fig. 1　Number of *Tetranychus urticae* on different varieties of eggplant after selection for 4 h

JQG：嫁接京茄 6 号 Grafted Jingqie 6；JQ：京茄 6 号 Jingqie 6；HB：京茄黑霸 Jingqieheiba；ZL：紫龙王 4 号 Zilongwang 4；BL：布利塔 Bulita；CF：长丰 2 号 Changfeng 2；CY：长竹丝茄 Changzhusiqie；RY：日友长直壮青长茄 Riyouchangzhizhuangqingchangqie；QZ：茄砧 1 号 Qiezhen 1；SJ：蒜芥茄 Suanjieqie. 柱上不同字母表示经 Duncan 氏新复极差测验差异显著（$P < 0.05$）。Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's new multiple range method test ($P < 0.05$). 图 2 和 3 同 The same for Figs. 2 and 3.

2.2　二斑叶螨在不同品种茄子上种群动态

在不同品种上同时接入 20 对雌雄成螨 7 d 后，野生品种蒜芥茄上叶螨全部死亡，茄砧 1 号上存活 8.4 头/株，其余各个品种之间差异不显著；14，21 和 28 d 时各品种之间开始出现差异（蒜芥茄除外），蒜芥茄上的数量一直为 0，茄砧 1 号上的数量始终最少；28 d时，紫龙王 4 号上的数量最多，为 1 009.1 头/株，京茄 6 号上和嫁接的京茄 6 号上的数量较多，分别为980.6和 909.1 头/株，但二者之间差异不显著，日友长直壮青长茄、京茄黑霸和布利塔上的数量相对较少，分别为 511.5，629.0 和 644.2 头/株（表 2）。

2.3　二斑叶螨在不同品种茄子上的发育历期

二斑叶螨在蒜芥茄上的卵期最长，为 5.23 d，日友长直壮青长茄上卵期最短，为 3.33 d；从幼螨到若螨期的发育历期看，长丰 2 号上二斑叶螨发育历期最长，为 7.34 d，京茄 6 号上最短，为 5.91 d；二斑叶螨发育历期最长的是在长丰 2 号上，为 11.08 d，但与茄砧 1 号上差异不显著，京茄 6 号上的发育历期最短，为 9.31 d，与嫁接的京茄 6 号上的 10.26 d 差异显著（表 3）。

表 2　不同品种茄子接种 20 对二斑叶螨成螨后的数量动态变化

Table 2　Dynamic changes in number of *Tetranychus urticae* after 20 pairs of adults were inoculated on different varieties of eggplant

茄子品种 Eggplant variety	接种后不同时间的叶螨数量(头/株) Number of adults at indicated days after inoculation (number of individuals/plant)			
	7 d	14 d	21 d	28 d
嫁接的京茄 6 号 Grafted Jingqie 6	25.1 ±3.13 a	129.7 ±12.07 c	408.8 ±14.74 b	909.1 ± 29.52 b
京茄 6 号 Jingqie 6	17.7 ±1.33 ab	186.8 ±7.58 ab	343.6 ±7.74 c	980.6 ±40.15 ab
京茄黑霸 Jingqieheiba	20.0 ±2.41 ab	198.2 ±16.15 a	292.8 ±11.64 c	629.0 ±25.95 d
紫龙王 4 号 Zilongwang 4	14.8 ±1.51 bc	135.0 ±10.80 c	492.4 ±30.05 a	1 009.1 ±34.25 a
布利塔 Bulita	15.1 ±1.80 bc	143.4 ±13.02 c	320.7 ±18.50 c	644.2 ±29.72 d
长丰 2 号 Changfeng 2	19.3 ±2.97 ab	71.9 ±9.92 d	235.9 ±19.51 d	727.0 ±20.00 c
长竹丝茄 Changzhusiqie	20.1 ±4.06 ab	162.2 ±12.05 bc	434.9 ±22.11 b	794.0 ±24.68 c
日友长直壮青长茄 Riyouchangzhizhuangqingchangqie	21.8 ±2.52 b	149.8 ±10.20 c	328.7 ±25.00 c	511.5 ±26.94 e
茄砧 1 号 Qiezhen 1	8.4 ±1.54 c	37.9 ±8.19 e	133.1 ±16.66 e	187.5 ±14.107 f
蒜芥茄 Suanjieqie	0.0 ±0.00 d	0.0 ±0.00 f	0.0 ±0.00 f	0.0 ±0.00 g

同组纵向数列小写字母表示 Duncan 氏新复极差测验法差异显著($P<0.05$)。Different letters following the data in a column represent significant difference by Duncan's new multiple range method test ($P<0.05$).

表 3　二斑叶螨在不同品种茄子上的发育历期

Table 3　Developmental duration of *Tetranychus urticae* on different varieties of eggplant

茄子品种 Eggplant variety	卵期 Egg duration (d)	幼螨期 Larval duration (d)		第 1 若螨期 Protonymph duration (d)		第 2 若螨期 Deutonymph duration (d)		幼期*** Larval stage (d)	未成熟期**** Immature stage (d)
		活动期 Active instar	静止期 Protochrysalis	活动期 Active instar	静止期 Deutochrysalis	活动期 Active instar	静止期 Teleiochrysalis		
嫁接的京茄 6 号 Grafted Jingqie 6 (37)*	3.70 ±0.05 cd**	1.47 ± 0.08 a	0.80 ±0.04 cd	1.11 ±0.06 bc	0.76 ±0.06 c	1.49 ±0.13 ab	0.99 ±0.08 a	6.62 ±0.18 d	10.26 ±0.21 bc**
京茄 6 号 Jingqie 6 (29)	3.77 ±0.05 cd	1.34 ±0.05 a	0.60 ±0.04 d	0.97 ±0.10 c	0.71 ±0.05 c	1.36 ±0.12 abc	0.93 ±0.08 a	5.91 ±0.22 e	9.31 ±0.23 d
京茄黑霸 Jingqieheiba (34)	3.95 ±0.06 b	1.43 ±0.10 a	0.57 ±0.03 d	1.18 ± 0.13 bc	1.24 ±0.09 a	1.16 ±0.10 bcd	0.90 ±0.08 a	6.47 ±0.14 cd	10.26 ±0.14 bc
紫龙王 4 号 Zilongwang 4 (28)	3.65 ±0.06 d	1.41 ±0.08 a	0.61 ±0.05 d	1.20 ±0.14 bc	1.11 ±0.12 ab	1.07 ±0.14 cd	0.80 ±0.07 a	6.20 ±0.12 de	9.59 ±0.13 d
布利塔 Bulita (21)	3.69 ±0.04 cd	1.55 ±0.11 a	0.86 ±0.10 bc	1.12 ±0.10 bc	0.93 ±0.10 bc	1.36 ±0.14 abc	0.98 ±0.09 a	6.79 ±0.25 bc	10.21 ±0.24 bc
长丰 2 号 Changfeng 2 (38)	3.83 ±0.05 bc	1.46 ±0.07 a	1.09 ±0.10 a	1.29 ±0.13 abc	1.24 ±0.14 a	1.29 ±0.10 abc	0.97 ±0.09 a	7.34 ±0.19 a	11.08 ±0.18 a
长竹丝茄 Changzhusiqie (34)	3.84 ±0.03 bc	1.51 ±0.08 a	0.91 ±0.07 abc	1.38 ±0.08 ab	0.82 ±0.05 c	0.91 ±0.08 d	1.03 ±0.11 a	6.57 ±0.14 cd	10.24 ±0.17 bc
日友长直壮青长茄 Riyouchangzhizhuangqingchangqie (30)	3.33 ±0.03 e	1.50 ±0.12 a	0.50 ±0.08 ab	2.00 ±0.11 bc	0.50 ±0.07 c	2.00 ±0.11 abc	0.50 ±0.08 a	6.67 ±0.13 cd	9.87 ±0.14 cd
茄砧 1 号 Qiezhen 1 (42)	3.45 ±0.06 e	1.31 ±0.07 a	1.13 ±0.09 a	1.52 ±0.10 a	0.88 ±0.07 bc	1.57 ±0.10 a	0.81 ±0.04 a	7.23 ±0.18 ab	10.61 ±0.20 ab
蒜芥茄 Suanjieqie (62)	5.23 ±0.08 a	–	–	–	–	–	–	–	–

* 同组括号内为在此寄主植物上进行试验的虫数 The number inside the parenthesis represents the number of mites tested; ** 同组纵向数列小写字母表示 Duncan 氏新复极差测验法差异显著($P<0.05$) Different letters following the data in a column indicate significant differences at the 0.05 level by Duncan's new multiple range method test; *** 幼期包括幼螨和 2 个若螨期 Larval stage includes larva and protonymph and deutonymph; **** 未成熟期包括卵期、幼螨期、若螨期 Immature stage includes egg, larva, protonymph and deutonymph.

2.4　二斑叶螨在不同品种茄子上的繁殖力

京茄 6 号、京茄黑霸和嫁接的京茄 6 号上二斑叶螨前 5 d 的单头产卵量依次减少，分别为 35.92，33.2 和 31.34 粒/头，是产卵量最多的 3 个品种，且 3 个品种之间差异不显著；蒜芥茄上的二斑叶螨产卵量最少，为 1.82 粒/头。除蒜芥茄外，紫龙王 4 号、茄砧 1 号、长丰 2 号和布利塔上的产卵量最少，且 4 个品种间差异不显著（图 2）。

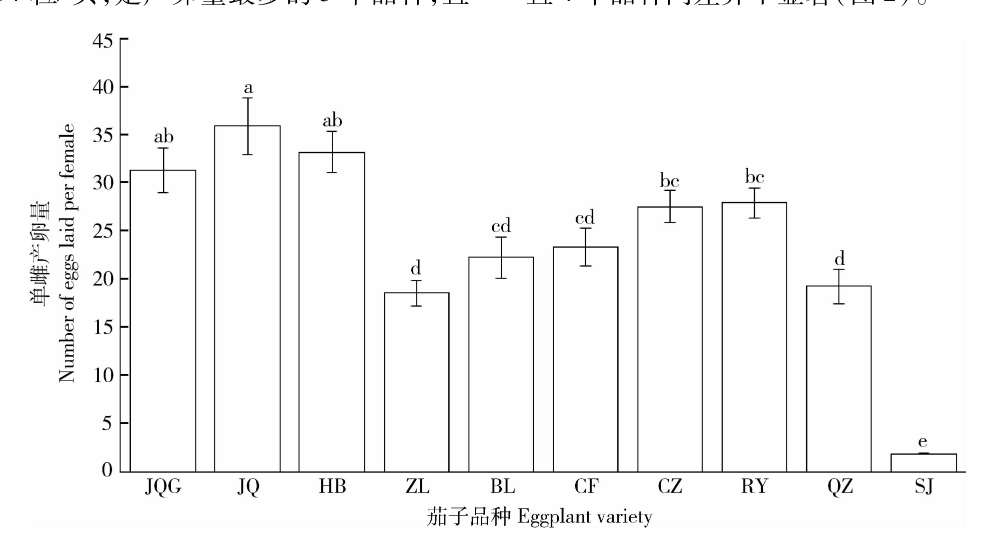


图 2　二斑叶螨在不同品种茄子上前 5 d 的产卵量

Fig. 2　Fecundity of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on different varieties of eggplant in the first five egg-laying days

2.5　不同品种茄子的叶表面组织结构比较

蒜芥茄的叶背茸毛最多，其次是茄砧 1 号，茸毛密度分别为 58.7 和 35.95 簇/cm^2，且二者差异显著；京茄 6 号、嫁接的京茄 6 号的茸毛密度较小，分别13.97和 12.03 簇/cm^2，二者之间差异不显著（图 3），日友长直壮青长茄的茸毛密度最小，仅为 9.38 簇/cm^2。

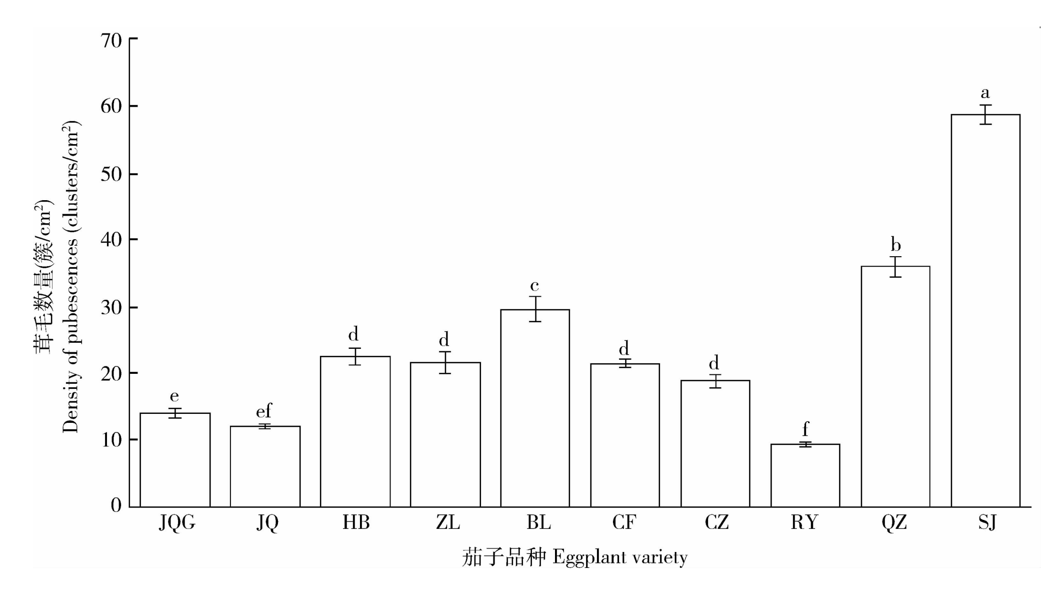


图 3　不同茄子品种的叶片茸毛密度

Fig. 3　Density of leaf pubescences of different eggplant varieties

2.6　二斑叶螨的选择性、适合度与茄子叶片茸毛数量三者的线性回归和相关性

如表 4 所示，茄子茸毛数量与二斑叶螨对寄主的选择性和适合度都呈极显著线性负相关（$P < 0.01, R^2 > 0.6, b < 0$），说明不同品种茄子茸毛数量可以极显著影响二斑叶螨的寄主选择行为和繁衍速率。而二斑叶螨对不同品种茄子的选择性和适合度之间呈显著线性正相关（$P < 0.05, R^2 > 0.4, b > 0$），说明二斑叶螨偏好于选择适合繁衍的寄主。

表 4 茄子叶片茸毛密度、二斑叶螨选择性和适合度之间的线性回归和相关性

Table 4 Pairwise linear regression and correlation of the density of leaf pubescences of egg plants, selection and fitness of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*

Y-x	*A*	*B*	*F*	*P*	R^2
选择性-茸毛数量 Selectivity-density of leaf pubescences	38.79 ± 3.041	−0.60 ± 0.108	30.62	0.000551	0.7929
适合度-茸毛数量 Fitness-density of leaf pubescences	1 086.30 ± 136.380	−18.33 ± 4.875	14.14	0.005546	0.6386
选择性-适合度 Selectivity-fitness	11.00 ± 5.320	0.02 ± 0.007	7.548	0.025160	0.4855

$Y = bx + a$；R^2 为线性相关系数的平方，R^2 越接近 1 自变量和因变量线性相关性越强；F 和 P 是对线性相关性显著检验结果，$P < 0.05$ 表示 R 显著接近 1，$P < 0.01$ 表示 R 极显著接近 1。$Y = bx + a$. R^2 is square of linear correlation coefficient, and the linear correlation between independent variables and dependent variables is more close when R^2 is more close to 1. F and P are significant test results for linear correlation, when $P < 0.05$, R is significantly close to 1; when $P < 0.01$, R is extremely significantly close to 1.

3 讨论与结论

昆虫和叶螨的学习行为与经历影响其取食及寄主适合度,并且这种学习行为在短时间就可以形成(Schoonhoven *et al*., 1998; Agrawal, 2000)。本研究中二斑叶螨的寄主选择性试验虫源采自豆苗,与所有供试茄子品种的亲缘关系较远,上一代饲养寄主豆苗对各个草莓品种的影响是一致的,不影响在不同茄子品种上的选择性试验结果。二斑叶螨的发育与繁殖力试验试虫都是由供试茄子品种饲养 2 代以上,再开展试验,避免了寄主转换对试验结果的影响。由于在前期饲养过程中发现蒜芥茄上二斑叶螨不能完成一个世代,因此蒜芥茄的供试叶螨采自菜豆豆苗上饲养 2 代以上的种群,因此试验中的供试叶螨和寄主得到了严格的控制,尽量排除了非试验因素的干扰。

寄主植物的物理性状是影响害虫选择性和适应性的重要因素之一(Skorupska, 2004; 雍小菊和丁伟, 2011)。二斑叶螨倾向于危害叶片背面多茸毛的茄子、番茄和菜豆等栽培作物,在杂草选择中对禾本科、鸭趾草等植物的选择较弱(贺达汉等, 2001)。而在同一作物不同品种间,张金发等(1993)发现叶片有毛且不致密的棉花品种容易受到朱砂叶螨的危害。本研究中选用的不同茄子品种叶片均具有茸毛,研究发现叶片茸毛数量与二斑叶螨的选择性和适合度呈负相关,这与张金发等(1993)研究结果相吻合。

本研究中二斑叶螨在不同茄子品种上的发育历期测定是在 25℃ 条件下开展的,与 Khanamani 等(2013)的关于二斑叶螨在伊朗茄子品种上试验条件相同。本试验中二斑叶螨卵的发育历期为3.33~5.23 d,包含卵期的未成熟期发育历期为 9.31~11.08 d,与 Khanamani 等(2013)的结果接近,卵期为4.08~4.62 d,未成熟期为9.42~11.05 d。两项研究均表明二斑叶螨在不同茄子品种上的发育历期存在差异。

影响发育历期和繁殖力的因素还有温度和湿度。叶螨发育的最适温度为 23~30℃,平均寿命随着温度的升高而缩短(Shih, 1999)。本研究中二斑叶螨在不同品种茄子上发育及产卵量试验是在温度 25 ± 1℃,相对湿度 60% ~80%,光周期为 16L: 8D 的培养箱内进行,避免了温湿度的影响。试验中观察到二斑叶螨发育历期和繁殖力差异是品种造成的,这与前人的菜豆和茄子品种对二斑叶螨的实验结果一致(Khanamani *et al*., 2013; Modarres Najafabadi *et al*., 2014; Uddin *et al*., 2015)。

本试验中不同品种茄子上二斑叶螨平均单头雌螨前 5 d 的产卵量差异显著,京茄 6 号的上产卵量最多,蒜芥茄上产卵量最少,分别为 35.92 和 1.82 粒。二斑叶螨在伊朗 7 个品种茄子上的单雌产卵量同样存在差异(Khanamani *et al*., 2013),说明在其他因素相同的条件下,茄子品种引起二斑叶螨的繁殖力的差异。Shih 等(1976)观察发现自第 1 粒卵产下起前 5 d 为二斑叶螨的产卵高峰,以后产卵量降低。因此本研究所观察的前 5 d 的产卵量可以反映二斑叶螨在不同茄子品种上的繁殖力。

嫁接技术是减少茄子重茬栽培引起的黄萎病的重要防控措施,本研究中选取了以茄砧 1 号为砧木的未嫁接和嫁接的京茄 6 号进行比较,结果发现嫁接和未嫁接的植株间叶螨发生量和产卵量均不存在显著差异,但是自然选择数量和未成熟期发育历期差异显著。研究还发现嫁接品种的自然选择数量和未成熟期发育历期介于未嫁接品种和砧木之间。可见嫁接对二斑叶螨的选择性和适应性存在影响,这与嫁接改变植物的物理性质、营养物质和次生物代谢相关。而嫁接后对害虫的选择性、发育和繁殖的影响还要进一步研究。

研究发现，二斑叶螨对紫黑圆茄类的京茄 6 号的选择性、适合度较高，对紫黑长茄类的布利塔选择性相对较低，适合度较差，对野生品种蒜芥茄的选择性和适合度最差，不能完成整个世代发育。不同品种茄子叶片茸毛数量可以极显著影响二斑叶螨的寄主选择行为和繁殖，而且二斑叶螨偏好于选择适合繁殖的寄主。因此，在茄子育种时叶片茸毛数量是选育抗螨性强的品种的重要参考指标。在生产上紫黑长茄类的布利塔的抗螨性较强，可以用于二斑叶螨的综合治理。

致谢　中国计量大学张蓬军博士在试验设计方面给予指导，卢先敏（北京市农林科学院植物保护环境保护研究所）、张福良（北京市大兴区礼贤镇）帮助培育供试茄子苗，北京市农林科学院植物保护环境保护研究所实习生郭志云、李冰艳、李泽民、李月、胡钰琳、江会芬和周渊等同学在试验过程中给予帮助，在此一并表示感谢。

参考文献（References）

Agrawal AA, 2000. Host-range evolution: adaptation and trade-offs in fitness of mites on alternative hosts. *Ecology*, 81(2): 500 – 508.

Bostanian NJ, Trudeau M, Lasnier J, 2003. Management of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in eggplant fields. *Phytoprotection*, 84(1): 1 – 8.

Gerson U, Weintraub PG, 2007. Mites for the control of pests in protected cultivation. *Pest Manag. Sci.*, 63(7): 658 – 676.

Gimenez-Ferrer RM, Erb WA, Bishop BL, Scheerens JC, 1994. Host-pest relationship between the two spotted spider mite and strawberry cultivars with differing levels of resistance. *J. Econ. Entomol.*, 87(1): 168 – 175.

Goka K, 1999. The effect of patch size and persistence of host plants on the development of acaricide resistance in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.*, 23(5): 419 – 427.

Gong YJ, Shi BC, Wang ZH, Kang ZJ, Jin GH, Cui WX, Wei SJ, 2013, Toxicity and field control efficacy of the new acaricide bifenazate to the two-spotted mite *Tetranychus urticae* Koch. *Agrochemicals*, 52(3): 225 – 227. [宫亚军, 石宝才, 王泽华, 康总江, 金桂华, 崔文夏, 魏书军, 2013. 新型杀螨剂—联苯肼酯对二斑叶螨的毒力测定及田间防效. 农药, 52(3): 225 – 227]

Gong YJ, Wang ZH, Shi BC, Cui WX, Jin GH, Sun YY, Wei SJ, 2014. Sensitivity of different field populations of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) to the acaricides in Beijing area. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(15): 2990 – 2997. [宫亚军, 王泽华, 石宝才, 崔文夏, 金桂华, 孙艳艳, 魏书军, 2014. 北京地区二斑叶螨不同种群的药剂敏感性. 中国农业科学, 47(15): 2990 – 2997]

Gong YJ, Wang ZH, Wang S, Zhu L, Shi BC, Wei SJ, 2015. Biological control of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) by the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on eggplant. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1 – 8. [宫亚军, 王泽华, 王甦, 朱亮, 石宝才, 魏书军, 2015. 智利小植绥螨对茄子二斑叶螨控制效果研究. 应用昆虫学报, 52(5): 1 – 8]

Gorman K, Hewitt F, Denholm I, Devine GJ, 2001. New developments in insecticide resistance in the glasshouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) and the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in the UK. *Pest Manag. Sci.*, 58(2): 123 – 130.

He DH, Zhao XP, Jin QH, Zhang BB, Liu C, 2001. Dispersion of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, and its selection of host plants on farmland in Ningxia. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 7(5): 447 – 451. [贺达汉, 赵晓萍, 靳巧红, 张蓓蓓, 刘超, 2001. 宁夏地区二斑叶螨的寄主植物选择及其季节转移. 应用与环境生物学报, 7(5): 447 – 451]

Howell AD, Daugovish O, 2013. Biological control of *Eotetranychus lewisi* and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry by four phytoseiids (Acari: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.*, 106(1): 80 – 85.

Khanamani M, Fathipour Y, Hajiqanbar H, 2013. Population growth response of *Tetranychus urticae* to eggplant quality: application of female age-specific and age-stage, two-sex life tables. *Inter. J. Acarol.*, 39(8): 638 – 648.

Lei HD, Hu JH, Li HJ, Ran C, Zhang QB, Lin BM, Tian WH, Qian KM, 2004. Performances of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) on various citrus varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 47(5): 607 – 611. [雷慧德, 胡军华, 李鸿筠, 冉春, 张权炳, 林邦茂, 田文华, 钱克明, 2004. 不同柑桔品种上桔全爪螨的生长和种群动态差异. 昆虫学报, 47(5): 607 – 611]

Lorenzen JH, Balbyshev NF, Lafta AM, Casper H, Tian X, Sagredo B, 2001. Resistant potato selections contain leptine and inhibit development of the colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.*, 94(5): 1260 – 1267.

Maluf WR, Campos GA, Cardoso MG, 2001. Relationships between trichome types and spider mite (*Tetranychus evansi*) repellence in tomatoes with respect to foliar zingiberene contents. *Euphytica*, 121(1): 73 – 80.

Migeon A, Nouguier E, Dorkeld F, 2010. Spider mites web: a comprehensive database for the Tetranychidae. http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb/.

Modarres Najafabadi SS, Shoushtari RV, Zamani AA, Arbabi M, Farazmand H, 2014. Life parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on six common bean cultivars. *J. Econ. Entomol.*, 107(2): 614 – 622.

Monteiro LB, Kuhn TMA, Mogor AF, da Silva EDB, 2014. Biology of the two-spotted spider mite on strawberry plants. *Neotrop. Entomol.*, 43(2): 183 – 188.

Najafabadi SSM, Shoushtari RV, Zamani AA, Arbabi M, Farazmand H, 2014. Life parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on six common bean cultivars. *J. Econ. Entomol*., 107(2): 614-622.

Opit GP, Jonas VM, Williams KA, Margolies DC, Nechols JR, 2001. Effects of cultivar and irrigation management on population growth of the twospotted spider mite *Tetranychus urticae* on greenhouse ivy geranium. *Exp. Appl. Acarol*., 25(10-11): 849-857.

Park YL, Lee JH, 2005. Impact of two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on growth and productivity of glasshouse cucumbers. *J. Econ. Entomol*., 98(2): 457-463.

Saeidi Z, Mallik B, 2006. *In vitro* screening of 67 *Lycopersicon* accessions/cultivars for resistance to twospotted spider mite. *J. Biol. Sci*., (6): 847-853.

Schoonhoven LM, Jermy T, van Loon JJA, 1998. Insect-Plant Biology: from Physiology to Evolution. Chapman and Hall, London.

Scranton K, Stavrinides M, Mills NJ, de Valpine P, 2013. Small-scale intraspecific life history variation in herbivorous spider mites (*Tetranychus pacificus*) is associated with host plant cultivar. *PLoS ONE*, 8(9): e72980.

Sedaratian A, Fathipour Y, Moharramipour S, 2009. Evaluation of resistance in 14 soybean genotypes to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) *J. Pest Sci*., 82(2): 163-170.

Sedaratian A, Fathipour Y, Moharramipour S, 2011. Comparative life table analysis of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on 14 soybean genotypes. *Insect Sci*., 18(5): 541-553.

Shih CIT, 1999. Population ecology and its application on tetranychid and phytoseiid mite. *Chinese Journal of Entomology*, 126(Spec. Publ. 12): 25-48.

Shih CIT, Poe SL, Cromroy HL, 1976. Biology, lifetable and intrinsic rate of increase of *Tetranychus urticae*. *Ann. Entomol. Soc. Am*., 69(2): 362-364.

Skorupska A, 2004, Resistance of apple cultivars to two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina, Tetranychidae). Part II. Influence of leaf pubescence of selected apple cultivars on fecundity of two-spotted spider mite. *J. Plant Prot. Res*., 44(1): 69-74.

Stavrinides MC, Skirvin DJ, 2003. The effect of chrysanthemum leaf trichome density and prey spatial distribution on predation of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) by *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Bull. Entomol. Res*., 93(4): 343-350.

Sun JT, Lian C, Navajas M, Hong XY, 2012. Microsatellites reveal a strong subdivision of genetic structure in Chinese populations of the mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *BMC Genet*., 13(2): 242-245.

Suzuki T, Watanabe M, Takeda M, 2009. UV tolerance in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *J. Insect Physiol*., 55(7): 649-654.

Tang QY, Feng MG, 2007. DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. Science Press, Beijing. [唐启义, 冯明光, 2007. DPS 数据处理系统: 实验设计, 统计分析及模型优化. 北京: 科学出版社]

Uddin MN, Alam MZ, Miah MRU, Mian MIH, Mustarin KE, 2015. Life table parameters of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on different bean varieties. *Afr. Entomol*., 23(2): 418-426.

van Leeuwen T, Dermauw W, Grbic M, Tirry L, Feyereisen R, 2013. Spider mite control and resistance management: does a genome help? *Pest Manag. Sci*., 69(2): 156-159.

Vassiliou VA, Kitsis P, 2013. Acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) populations from Cyprus. *J. Econ. Entomol*., 106(4): 1848-1854.

Wilde G, Thomas W, Hall H, 1991. Plant resistance to two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) in raspberry cultivars. *J. Econ. Entomol*., 84(1): 251-255.

Wu YQ, Liu QX, Gao ZR, Zhong CZ, 1996. A study on resistance mechanism in cotton cultivar to *Tetranychus cinnabarinus*. *Scientia Agricultura Sinica*, 29(3): 1-7. [武予清, 刘芹轩, 高宗仁, 钟昌珍, 1996. 棉花品种的抗螨机制研究. 中国农业科学, 29(3): 1-7]

Yong XJ, Ding W, 2011. The resistant mechanisms of plants to mites. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1495-1504. [雍小菊, 丁伟, 2011. 植物的抗螨机理. 应用昆虫学报, 48(5): 1495-1504]

Yuan HX, Li Q, Yang S, ZhaoYY, GuoYL, Zhang JP, 2012. Effects of cotton cultivars on the population dynamics and population parameters of *Tetranychus turkestani*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 923-931. [袁辉霞, 李庆, 杨帅, 赵伊英, 郭艳兰, 张建萍, 2012. 不同棉花品种对土耳其斯坦叶螨的种群动态和种群参数的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 923-931]

Zhang JF, Sun JZ, Wu ZB, Liu JL, 1993. Identification of cotton varieties resistant to carmine spider mite and exploration of resistance mechanism. *Acta Entomologica Sinica*, 20(2): 155-161. [张金发, 孙济中, 吴征彬, 刘金兰, 1993. 棉花对硃砂叶螨抗性的鉴定和机制研究. 植物保护学报, 20(2): 155-161]

Zhu L, Shi BC, Gong YJ, Wang ZH, Kang ZJ, Mirab-Balou M, Wei SJ, 2013. Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables. *Acta Ecologica Sinica*, 33(5): 1607-1614. [朱亮, 石宝才, 宫亚军, 王泽华, 康总江, 马吉德, 魏书军, 2013. 美洲棘蓟马对不同蔬菜寄主的偏好性. 生态学报, 33(5): 1607-1614]

(责任编辑: 赵利辉)